Caldasia 16 (79): 489-500, 1991

FITOPLANCTON Y ASPECTOS FISICOS Y QUIMICOS DE LA LAGUNA DE CHINGAZA EN CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

JOHN CHARLES DONATO R.

Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS) Departamento de Biología. Pontificia Universidad Javeriana, Apartado Aéreo 56710, Santafé de Bogotá, Colombia.

Resumen

En la laguna de Chingaza (3265 m alt. Cordillera Oriental Colombiana), se realizaron muestreos de fitoplancton, mediciones de temperatura, oxígeno y parámetros físicos y químicos. La comunidad de fitoplancton comprende principalmente Desmidiaceae, Bacillariophyceae, y Cyanophyceae: La Desmidiacea *Closterium* sp. es la dominante durante la mayor parte del muestreo, pero en octubre (1989) la Cianofícea *Oscillatoria* sp. es la más significativa. En esta misma época la laguna presenta estratificación térmica y deficiencia de nitrógeno en sus aguas. Debido a los bajos valores en la relación nitrógeno/fósforo, conductividad, sólidos disueltos, acidez y ciertos organismos indicadores la laguna de chingaza es oligotrófica.

Abstract

At the Chingaza pond (3.265 m alt., located on the eastern Colombian cordillera), samples and measurements of temperature, oxygen, and physical-chemical parameters were taken. Phytoplankton community mainly consisted of Desmidiaceae, Bacillariophyceae, and Cyanophceae. Desmidiaceae species dominated in most samples, but in october (1989) *Oscillatoria* sp. (Cyanophyceae) was the most abundant species. During the latter period the laguna exhibited strong thermal stratification and its inorganic nitrogen content was extremely low. It is believed that this is a good example of an oligotrophic pond given the presence of certain bioindicators, the low nitrogen/phosphorus ratio, conductivity, and quantity of suspended solids.

Introducción

En algunos países de América Latina el desarrollo de la limnología ha sido lento; se ha hecho énfasis en el estudio de los grandes ríos y sus lagunas periféricas debido en parte a su riqueza biótica excepcional (Margalef, 1983). En Colombia, se han llevado a cabo estudios sobre la biología del plancton, la mayoría de las cuales incluyen listas de organismos a nivel de especie y dan una aproximación preliminar a la ecología de los sistemas acuáticos aportando algunos elementos para entender su estructura y dinámica.

Paradójicamente la limnología de los lagos de alta montaña tropical está relegada a un segundo plano a pesar de que la mayoría de estos sistemas se ubican en zonas de reserva natural constituyendo depósitos de aguas de consumo.

En este trabajo, se presentan resultados recientes de la investigación llevada a cabo en la laguna de Chingaza localizada en el Parque Nacional Natural Chingaza con una localización aproximada de 4° 32′ lat. N y 73° 45′ long. W. Se enfatizan las características físicas, químicas y en especial la estructura y dinámica del fitoplancton.

Métodos

Desde octubre de 1988 hasta enero de 1990 se realizaron 90 muestreos de fitoplancton y 30 para variables físicas y químicas. La selección de las estaciones de muestreo se hizo con base en mediciones de valores de oxígeno disuelto (ppm) y de la composición cuantitativa del fitoplancton.

De acuerdo con los anteriores resultados se establecieron para la laguna de Chingaza las siguientes estaciones (Fig. 1):

Estación 1: área del efluente de la laguna.

Estación 2: zona litoral con predominancia de *Eleocharis* spp. *Miryophyllum quitense, Potamogeton illinoensis* y *Potamogeton paramoanus*, localizada en el costado oriental.

Estación 3: zona limnética o de aguas libres.

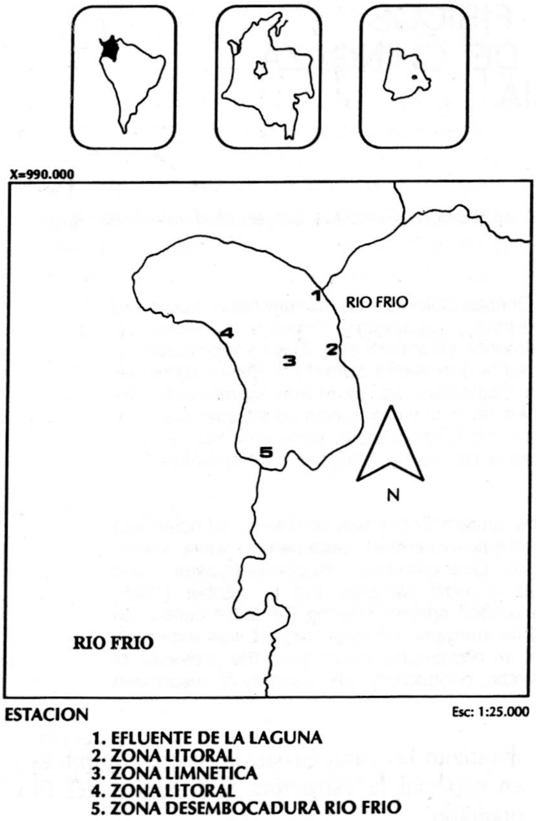

Figura 1. Mapa de la laguna de Chingaza, indicando las estaciones de muestreo.

Estación 4: zona litoral, con escasa vegetación de pantano debido a su carácter predominantemente rocoso.

Estación 5: área de influencia de la desembocadura del río Frío, con predominancia de vegetación especialmente *Carex aculata*.

En cada uno de los sitios anteriormente descritos se colectaron, para el análisis cualitativo del fitoplancton, muestras verticales y superficiales con una malla de 50 µm de criba. Para el análisis cuantitativo, las muestras se obtuvieron utilizando una botella muestreadora horizontal de 1L. de capacidad a 20 cm y 1 m de profundidad. Paralelamente, se tomaron datos de temperatura (°C) y oxígeno disuelto (ppm), con un oxímetro YSI modelo 57 previamente calibrado, para la acidez, CO_2, pH y alcalinidad se utilizaron baterias Aqua-Merck ref. 95. Las muestras cualitativas de fitoplancton se fijaron en formol al 4% y gotas de lugol concentrado, para las cuantitativas se utilizó lugol (0.5 ml por cada 100 de muestra) y ácido acético al 70%.

La determinación taxonómica del fitoplancton se llevó a cabo en el Laboratorio de limnología de la Pontificia Universidad Javeriana, para lo cual se utilizaron claves regionales de Venezuela, Perú, Ecuador, Brasil, Chile y Colombia. Para el análisis cuantitativo se utilizó la técnica del microscopio invertido, observando de 40 a 80 ml. de muestra sobre toda la cámara de sedimentación a fin de no sobrepasar el 10% de error en el límite de confiabilidad de 0.95 (Lund *et al.* 1958); las algas filamentosas y/o coloniales se tomaron como un solo individuo (Donato *et al.* 1987)

La determinación en muestras superficiales de Color (unidades), alcalinidad (mg/l. $CaCO_3$), acidez (mg/l. $CaCO_3$), calcio (mg/l $CaCO_3$), nitratos (mg/l. N), nitritos (mg/l. N), amonio (mg/l. N), sulfatos (mg/l. $SO_4^{=}$), ortofosfatos (mg/l. PO_4), hierro (mg/l. Fe^{++}), potasio (mg/l. K^{+}), manganeso (mg/l. Mn VII), sodio (mg/l. Na^{+}), conductividad (µs/cm 25°C), cloruros (mg/l. Cl^{-}), fósforo total (mg/l. $PO_4^{=}$), y turbidez (Unidades nefelométricas), se efectuó dentro de las siguientes 24 horas a su recolección, en el laboratorio de aguas del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional y en los Laboratorios de Química de la Universidad Javeriana teniendo en cuenta los métodos recomendados por la A.P.H.A. (1986).

Para el análisis e interpretación de los resultados físicos, químicos y biológicos los datos brutos se transformaron en una matriz de correlación aplicando el coeficiente de correlación producto/momento de Pearson. A partir de ésta se utilizó la técnica de coordenadas principales, utilizando para ello subprograma "Principal Coordinate Analysis (PCORD)" del paquete estadístico BIOSTAT (Pimentel & Smith, 1985), en un computador Zenith, Z-183 de 640 Kb RAM, con procesador matemático 8087.

Para las especies de fitoplancton, la matriz de datos se transformó en una matriz de similitud mediante la aplicación del índice ligamiento promedio (U.P.G.M.A.), así como el coeficiente de correlación cofenética con dendrogramas derivados a partir del índice de similitud de Bray Curtis. Finalmente con estos datos se ejecutó el subprograma "Cluster Analysis" que forma parte del programa Biostat. Además de los análisis descritos a la taxocenosis del fitoplancton se le determinó la diversidad mediante la aplicación del índice de Shannon-Weaver (Margalef, 1983).

Resultados

ASPECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS: dentro de la climatología de la laguna de Chingaza se presentan dos épocas definidas: una estación lluviosa de abril a noviembre, con un pico máximo de junio a agosto y un período con menores precipitaciones entre diciembre y marzo. De igual manera se presenta la distribución de los caudales, con un período de aguas altas entre junio y agosto y un período de aguas bajas entre diciembre y marzo (Carreño & Ramírez, 1979); este aspecto parece ser el más importante para determinar la variación en la concentración de parámetros físicos y químicos.

En este sentido, como se indica en la figura 2, el comportamiento de las variables físicas y químicas en las estaciones de muestreo a lo largo del año es uniforme ya que la mayoría de ellas están densamente agrupadas (Grupo I). Sin embargo, las estaciones correspondientes especialmente al mes de agosto se desvían de ese comportamiento (Grupo II); posiblemente este cambio en las características físicas y químicas está relacionado con la variación estacional si consideramos que, según el patrón de precipitación, es en este mes cuando se registran los mayores caudales del río Frío y el máximo volumen para la laguna de Chingaza. En esta época, las lluvias y el alto nivel de las aguas producen una "homogenización" de los parámetros físicos y químicos registrándose valores similares en toda la laguna. Por otra parte, la variación que se presenta en el mes de agosto (Fig. 3), está relacionada con los máximos valores de nitrato (NO_3), calcio (Ca), amonio (NH_4), turbidez, hierro (Fe), sílice (Si), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), y mínimo para conductividad, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, cloruros y sulfatos. Los valores de conductividad, alcalinidad y dureza son bajos y tienen una alta correlación positiva entre sí (Figura 4); así mismo, tanto la dureza

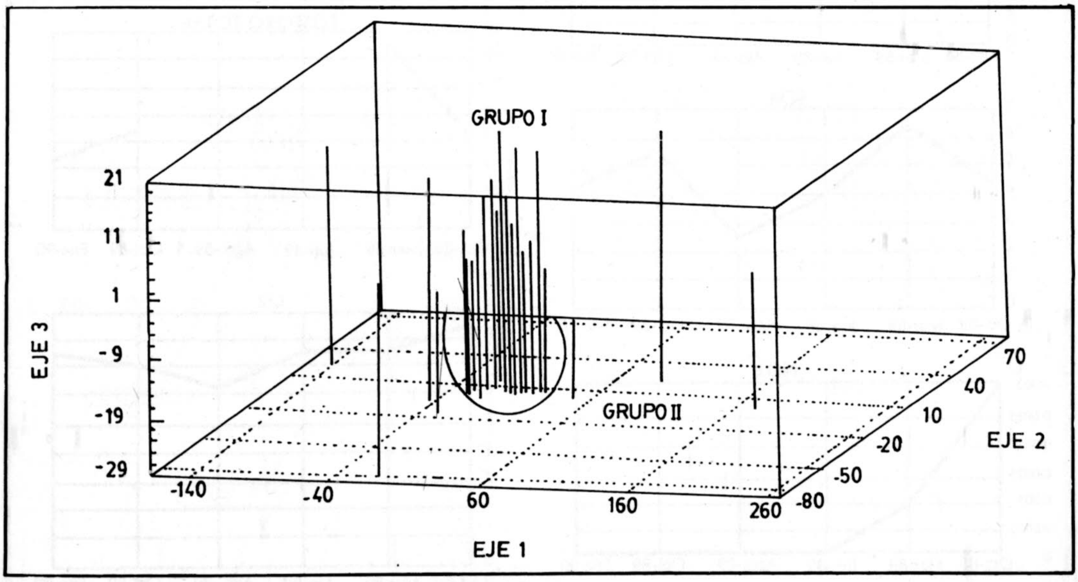

Figura 2. Análisis de Coordenadas Principales (PCORD), entre muestras de parámetros físico-químicos en la laguna de Chingaza.

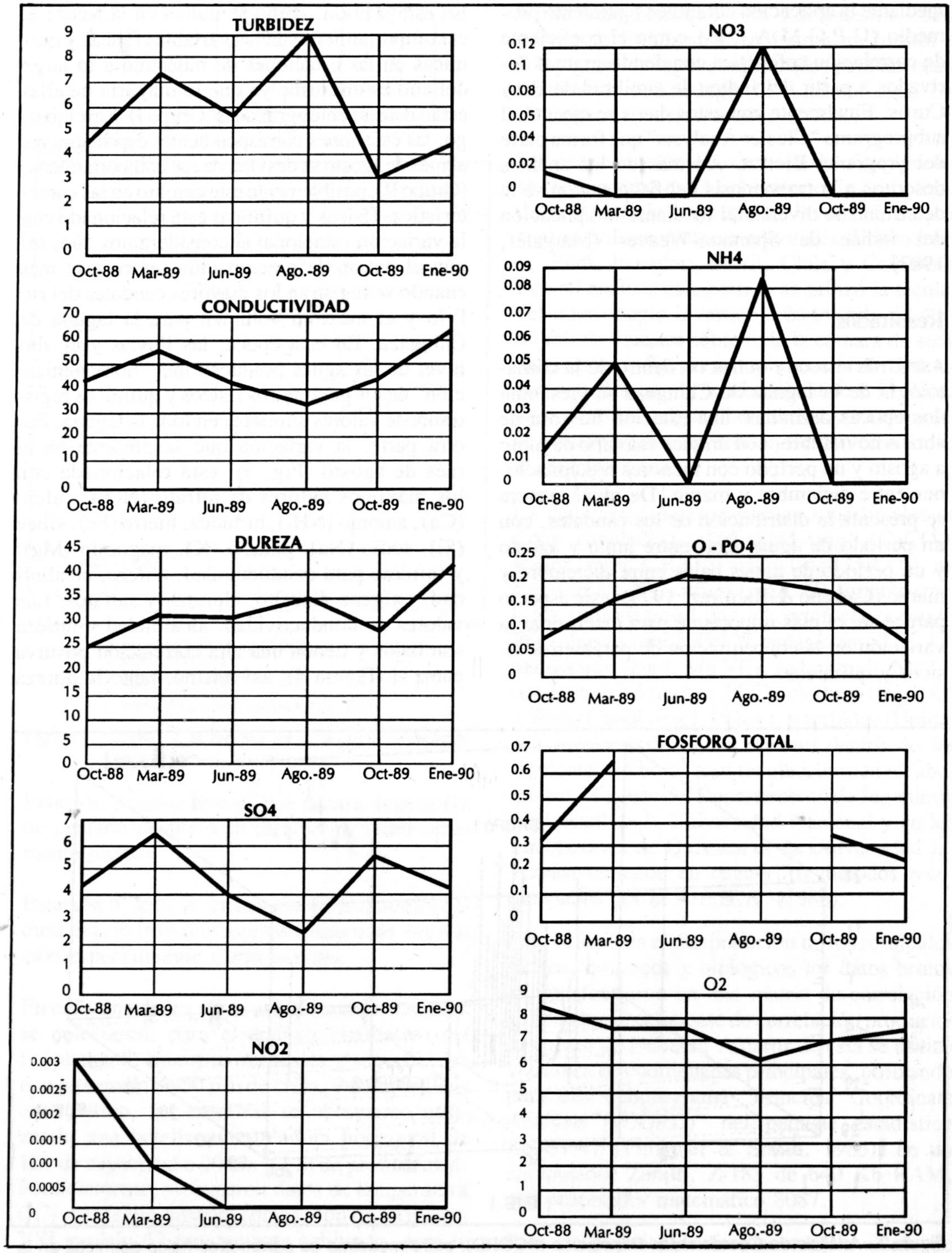

Figura 3. Caracterización físico-química de la laguna de Chingaza, oct/88-ene/90.

como la conductividad están definidas por la variación en las concentraciones de calcio, sodio y en menor grado, sulfatos y potasio. Los cloruros por el contrario muestran una correlación negativa con la dureza. Los cationes a los cuales se atribuye la alcalinidad de la laguna son calcio y sodio y en menor medida magnesio.

Como es lógico suponer, alcalinidad y acidez tienen correlación negativa mientras el CO_2 muestra una correlación positiva con aquella (Fig. 4).

Por otra parte, tanto el CO_2 como la acidez total influyen directamente en los cambios de pH.

Dos de los más importantes nutrientes necesarios para el desarrollo algal son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Como ocurre en los lagos de alta montaña tropical (Richerson *et al.* 1986; Wurtsbaugh & Vincent, 1985), el comportamiento y los bajos valores de la relación atómica nitrógeno/fósforo, reflejan la limitación de nitrógeno en la laguna de Chingaza. Este sólo aparece disponible en los meses de marzo, agosto y octubre (Fig. 3), contrario al ortosfato que aparece en todos los meses de muestreo.

El valor de saturación de oxígeno para la laguna de Chingaza es de 7.08 mg/l; como se observa en la figura 3, la laguna presenta a lo largo del muestreo valores de sobresaturación debido en parte al efecto del viento por su posición topográfica al final de una cuenca estrecha circundada por relieves abruptos y a la actividad fotosintética de su zona litoral. Aunque las concentraciones son muy uniformes, para el mes de agosto se presentan condiciones de subsaturación, como consecuencia del aporte de materia orgánica y su subsecuente descomposición, reflejado también en el aumento de amonio encontrado en el mes.

Como se puede esperar, los valores de turbidez muestran una notable relación con la precipitación e indican el importante aporte de material en suspensión a la laguna procedente de la cuenca del río Frío.

Con base en lo anteriormente expuesto, la laguna de Chingaza se define como oligotrófica, de aguas ácidoblandas, baja mineralización, limitada por nitrógeno y dependiente de los aportes de la cuenca a través de su afluente (río Frío).

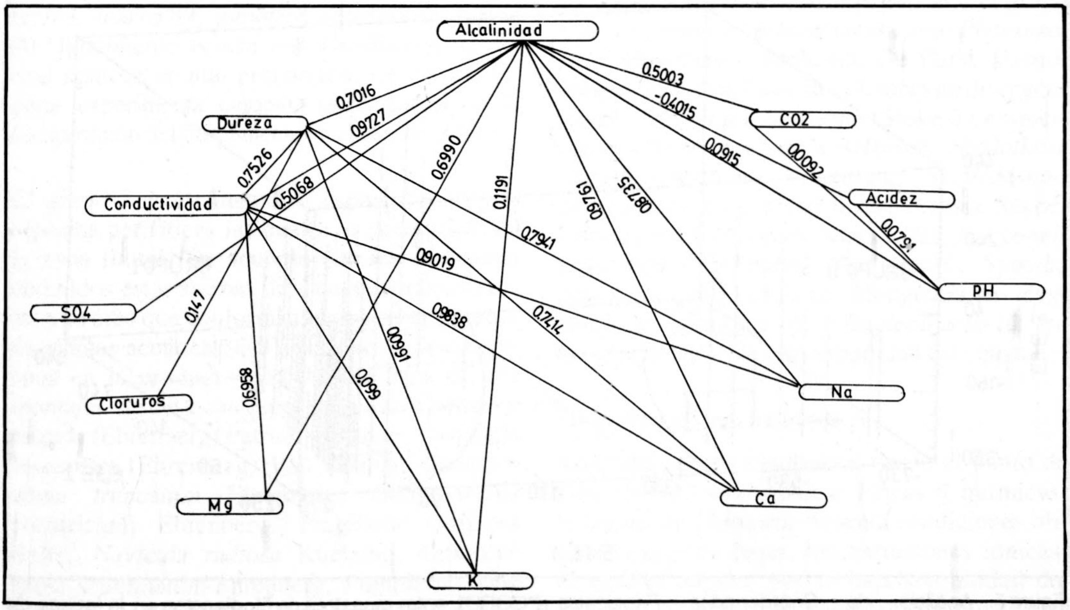

Figura 4. Red de correlaciones estadísticas entre algunos parámetros físicos y químicos en la laguna de Chingaza.

Análisis de resultados

1. ANÁLISIS DE COORDENADAS PRINCIPALES (PCORD): Los resultados obtenidos a partir del análisis de coordenadas principales (PCORD), entre muestras de parámetros físicos y químicos, establecieron variaciones espacio temporales entre las estaciones de muestreo y resaltaron el importante efecto de la variación climática.

A partir de los resultados PCORD (Fig. 2) se diferencian los grupos I y II. El grupo I está constituido por la mayoría de estaciones de muestreo, explicando el comportamiento físico y químico relativamente uniforme en toda la laguna. En este grupo están incluidas las estaciones de muestreo correspondientes a los meses de octubre/88, marzo/89, junio/89, octubre/89 y enero de 1990. Ellas se caracterizan, por la ausencia de nitrógeno en forma de NO_3, valores bajos de ortofosfatos, sobresaturación de oxígeno, valores altos de sulfatos y de conductividad. El grupo II constituido por muestras aisladas, incluye las estaciones muestreadas en el mes de agosto/89, la estación 5 y 3 correspondientes a octubre/89 y la estación 5 correspondiente a marzo/89.

La diferenciación de estaciones del Grupo II refleja el papel clave que ejerce el período más alto de precipitación (junio-agosto) y su efecto de dilución en las aguas de la laguna; adicionalmente, puede observarse que en las estaciones correspondientes a marzo y octubre el comportamiento de los factores físicos y químicos es diferente al resto de las estaciones, aspecto que está relacionado con las variaciones en el caudal del río Frío.

De manera similar, el análisis (PCORD) realizado con base en la composición cuantitativa del fitoplancton (Fig. 5), permite diferenciar dos grupos, los cuales en cierto modo reflejan la uniformidad en la composición de la comunidad del fitoplancton a lo largo de todo el muestreo, el papel fundamental que cumple el río Frío y la respuesta de la comunidad a la influencia de las condiciones climáticas, especialmente en la época de máxima precipitación en la laguna de Chingaza.

El grupo I reúne la mayoría de estaciones correspondientes al muestreo de octubre/88, marzo/89 y enero/90. En estas fechas la laguna se caracteriza

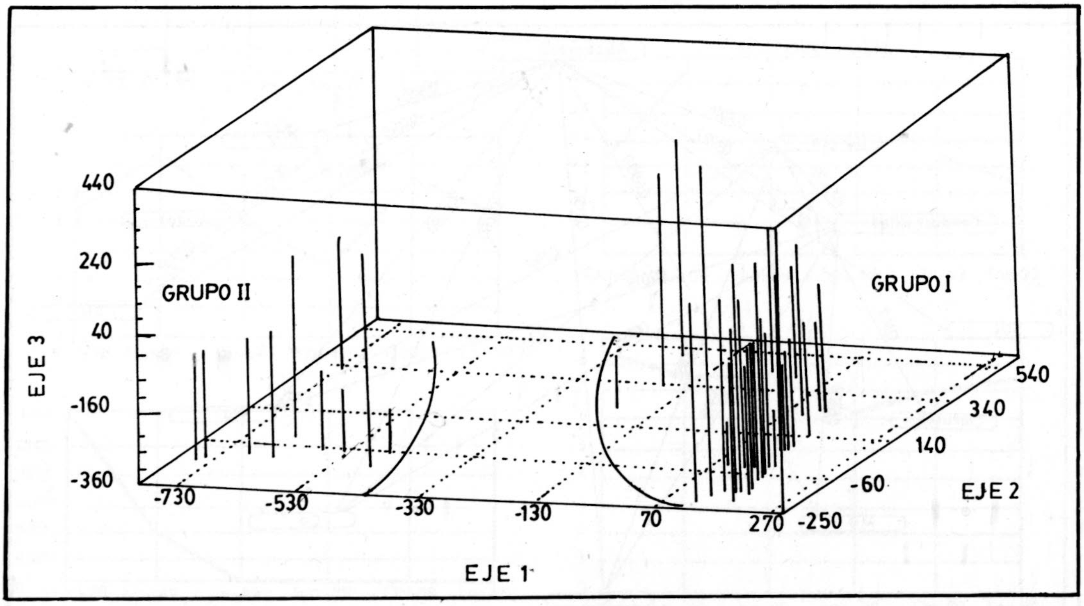

Figura 5. **Análisis de Coordenadas Principales (PCORD), entre muestras de fitoplancton en la laguna de Chingaza.**

por su estabilidad en las condiciones hidrológicas, físicas, químicas y por el predominio de *Closterium* sp. (Desmidiaceae).

El grupo II reúne las estaciones pertenecientes al mes de octubre 1989; la composición del fitoplancton con relación a los anteriores muestreos, presenta un cambio rápido y abrupto en su estructura y abundancia. Las condiciones físicas y químicas presentes en este mes dan paso al predominio de *Oscillatoria* sp., desplazando a las desmidíaceas las cuales se convierten en formas codominantes durante este muestreo.

2. ANÁLISIS DE ASOCIACIÓN DE BRAY-CURTIS: el dendrograma obtenido a partir de la matriz de asociación de Bray-Curtis, permite diferenciar cinco agrupaciones, definidas por la abundancia y forma de vida de las especies que las constituyen. En este dendrograma (Fig. 6) se separan grupos ecológicamente importantes y grupos de signiﬁcación ecológica baja.

La agrupación 1, reúne especies planctónicas dominantes en el período de estudio. Así por ejemplo, *Closterium* sp. es la especie predominante numéricamente en los muestreos de octubre/88, marzo/89, junio/89, agosto/89 y enero/ 90. Igualmente ocurre con *Oscillatoria* sp, la cual aparece en alta proporción, una vez la laguna experimenta cambios estructurales en la composición del fitoplancton en el mes de octubre.

El grupo 2 está constituido especialmente por especies perifíticas las cuales se desarrollan en la zona litoral. De acuerdo con los resultados obtenidos estas formas de vida son codominantes y se cree que conforman junto con el cinturón de plantas acuáticas, los elementos más conspicuos en la productividad de los lagos de alta montaña. Se destacan especies como: *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Patrick y Reimer, *Cymbella lanceolata* (Ehrenberg) Van Heurck, *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, *Gomphonema constrictum* Ehrenberg, *Fragilaria virescens* Ralfs, *Navicula radiosa* Kuetzing, *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg, *Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Cymbella minuta* Hilse, *Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kuetzi ng, etc.

El grupo 3, reúne especies de desmidíaceas de naturaleza tico a euplanctónica, asociadas a plantas acuáticas (*Miryophyllum quitense, Potamogetum illionensis, Ranunculus limoselloides* y *Nitella flexillis*) y con una constancia numérica baja. La mayoría de estas especies son indicadoras de aguas de carácter oligotrófico y están positivamente correlacionadas con el cambio en la composición y abundancia que ocurre en octubre/89. Las desmidíaceas más sobresalientes en este grupo son: *Staurastrum tohopekaligense* Wolle, *Sphaerozosma aubertianum* West, *Staurodesmus lobatus* (Boergesen) Bourelly, *Gonatozygon aculeatum* Hastings, *Xanthidium antilopaeum* (Brébison). Kuetzing, *Staurodesmus dejectus* (Brébison) Teiling, *Spondylosium planum* (Wolle) West y West, etc.

La segunda parte del dendrograma, corresponde a las agrupaciones denominadas “raras” o de significación ecológica baja, las cuales complican el análisis, debido a que únicamente se registraron en uno o máximo en dos muestreos y en estaciones correspondientes a la zona litoral o a la entrada del río Frío o la laguna. El grupo 4, reune diatomeas lóticas *Stauroneis anceps* Ehrenberg, *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg). Mueller, *Surirella biseriata* Brébison y el grupo 5 incluye especies planctónicas como *Pleurotaenium ehrenbergii* (Brébison) De Bary, *Desmidium cilindricum* Greville, *Dinobryon divergens* imhof, *Peridinium limbatum* (Stokes) Lemmermann, *Closterium gracile* Brébison, *Hyalotheca mucosa* (Mertens) Ehrenberg, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébison etc., especies perifíticas como *Navicula hebes* Ralfs, *Cocconeis placentula* (Ehrenberg) Van Heurk, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg, *Mougeotia* sp. *Zygnema* sp. *Spirogyra* sp. y *Euglena acus* Ehrenberg, perteneciente a la comunidad del neuston.

Discusión y conclusiones

ASPECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS: desde el punto de vista de las características físicas y químicas, la laguna de Chingaza presenta condiciones oligotróficas, con bajas concentraciones iónicas, lo cual se explica por la baja solubilidad del material parental y sus bajas temperaturas. Esta situación es común para lagos de alta montaña

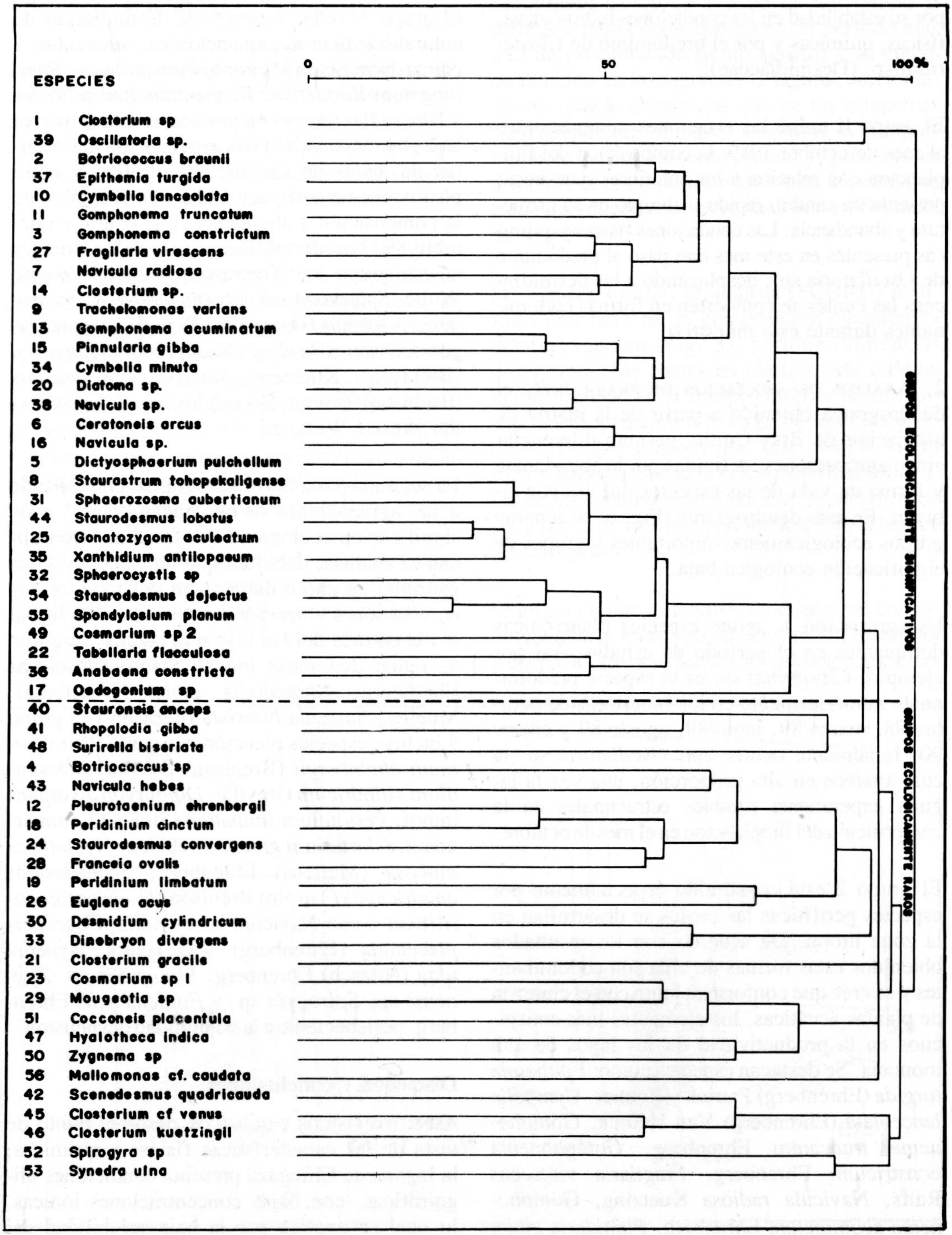
ESPECIES
0
50
100%
1 Closterium sp
39 Oscillatoria sp.
2 Botriococcus braunii
37 Epithemia turgida
10 Cymbella lanceolata
11 Gomphonema truncatum
3 Gomphonema constrictum
27 Fragilaria virescens
7 Navicula radiosa
14 Closterium sp.
9 Trachelomonas varians
13 Gomphonema acuminatum
15 Pinnularia gibba
34 Cymbella minuta
20 Diatoma sp.
38 Navicula sp.
6 Ceratoneis arcus
16 Navicula sp.
5 Dictyosphaerium pulchellum
8 Staurastrum tohopekaligense
31 Sphaerozosma aubertianum
44 Staurodesmus lobatus
25 Gonatozygom aculeatum
35 Xanthidium antilopaeum
32 Sphaerocystis sp
54 Staurodesmus dejectus
55 Spondylosium planum
49 Cosmarium sp 2
22 Tabellaria flacculosa
36 Anabaena constricta
17 Oedogonium sp
40 Stauroneis anceps
41 Rhopalodia gibba
48 Surirella biseriata
4 Botriococcus sp
43 Navicula hebes
12 Pleurotaenium ehrenbergii
18 Peridinium cinctum
24 Staurodesmus convergens
28 Franceia ovalis
19 Peridinium limbatum
26 Euglena acus
30 Desmidium cylindricum
33 Dinobryon divergens
21 Closterium gracile
23 Cosmarium sp 1
29 Mougeotia sp
51 Cocconeis placentula
47 Hyalotheca indica
50 Zygnema sp
56 Mallomonas cf. caudata
42 Scenedesmus quadricauda
45 Closterium cf venus
46 Closterium kuetzingii
52 Spirogyra sp
53 Synedra ulna
GRUPOS ECOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVOS
GRUPOS ECOLOGICAMENTE RAROS

Figura 6. Dendrograma de asociación entre especies de fitoplancton de la laguna de Chingaza, a partir del coeficiente de asociación de Bray-Curtis.

como los presentes en el Ecuador (Steinitz Kannan *et al.* 1983; Miller *et al.* 1984), Venezuela (Lewis & Weibezahn, 1976; Matos & Parra, 1986), Perú (Hegewald *et al.* 1976; Richerson *et al.* 1986; Richerson & Carney, 1988), Guatemala (Hargraves & Viquez, 1981) y Colombia (Loffler, 1964, 1972; Gaviria, 1983; Donato, 1990).

El patrón estacional climático, definido por la época de mayor precipitación (junio-octubre), se convierte en el eje ordenador de las condiciones físicas, químicas y biológicas; de acuerdo con los resultados anteriormente expuestos, la laguna de Chingaza se incluye en el patrón "A" (Melack, 1979) para lagos tropicales. Según este patrón, la laguna se caracteriza en principio por la constancia física y química a lo largo del muestreo. Este período es interrumpido únicamente en los meses de máxima precipitación cuando los parámetros de proporcionalidad constante caen a sus bajos valores como resultado del efecto de dilución, iniciando como respuesta un nuevo proceso de sucesión fitoplanctónica.

Por otra parte, las descargas del río Frío magnifican la variación estacional ya que como ocurre en la mayoría de ríos tropicales (Payne, 1986), el río Frío tiene un ciclo anual modificado por el patrón de lluvias, más aún cuando el tamaño de su cuenca es pequeño. A la influencia del río puede atribuirse el aumento del CO_2, ortofosfatos y calcio en épocas en las que el resto de la laguna de Chingaza tienen valores más bajos. La laguna de Chingaza al igual que otros lagos tropicales (Viner, 1982; Vincent & Vincent, 1985; Wurtsbaugh & Vincent, 1985; Henry *et al.* 1978), presenta una baja relación nitrógeno-fósforo, y al parecer el nitrógeno es el principal nutriente limitante para la productividad primaria. Como lo indican los resultados, la dinámica del fósforo depende del reciclamiento interno (sedimentos), pero principalmente de aportes de la cuenca (lavado, quemas, erosión); en cambio, el nitrógeno depende básicamente de procesos endógenos ligados desde su fijación en situaciones de fuerte estratificación (octubre/89), hasta los aportes derivados tanto de la descomposición de materia orgánica ocurrida en la zona litoral (nivel bajo de la laguna), como de los procedentes del sedimento y las pérdidas por denitrificación.

Es importante resaltar que la variación de fosfatos y nitrógeno es también consecuencia de la incorporación de estos nutrientes a las comunidades acuáticas especialmente de la zona litoral (plantas y perifiton) que además representan el segmento más representativo y productivo de la laguna de Chingaza.

ASPECTOS BIOLÓGICOS: como ocurre en la laguna de Mucubají (Matos & Parra, 1986), la laguna de Chingaza presenta un ritmo monomodal en la abundancia de fitoplancton, coincide el máximo número de organismos con el período de lluvias y el mínimo con el período seco (Figura 7). Este aspecto está relacionado con la variación de nivel que sufre la laguna (aproximadamente 1.5 m) y que afecta principalmente la zona litoral en la época de baja precipitación, incide en la comunidad del perifiton y fitoplancton asociada a ella. Como se observa en la figura 8; las estaciones situadas en el cinturón litoral (2 y 4) presentan la abundancia de organismos más altas, de tal manera que las condiciones locales de este hábitat dependen de factores externos (p.e. cambios de nivel) los cuales influyen en la estructura y dinámica especialmente del perifiton.

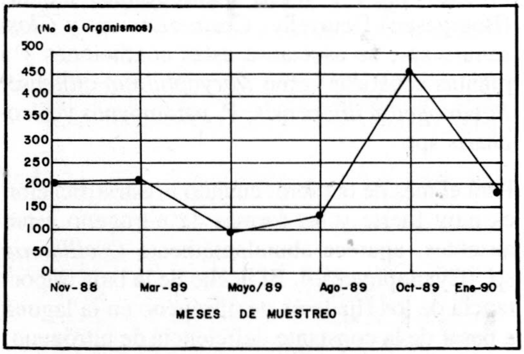

Figura 7. Variación de la abundancia del fitoplancton (No. de organismos) en la laguna de Chingaza.

Para el período de lluvias, el río Frío arrastra a la laguna nutrientes procedentes tanto de la cuenca de captación como de los procesos de descomposición, incrementando el contenido de estos en las aguas de la laguna; al retornar el nivel promedio de sus aguas activa el crecimiento del cinturón litoral.

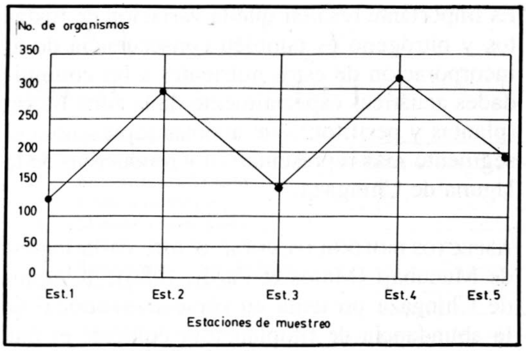

Figura 8. **Variación de la abundancia media de especies por estación, en la laguna de Chingaza.**

La laguna presenta tres grupos de algas dominantes (Fig. 9), cada uno de los cuales se favorece bajo determinada condición física, química e hidrológica.

Por un lado, las bajas concentraciones en electrolitos, especialmente calcio, y las condiciones ácido-oligotróficas generadas por ambientes de turberas favorece el desarrollo de Desmidiaceae (Wetzel, 1981; Coesel, 1987). Especies como *Desmidium cylindricum* Greville, *Staurastrum tohopekaligense* Wolle, *Xanthidiun antilopaeum* (Brébison) Kuetzing, *Spondylosium planum* (Wolle) West y West, *Staurodesmus lobatus* (Boergesen) Bourrelly, *Cosmarium* sp. y *Closterium* sp., se asocian a estas condiciones y a plantas acuáticas como *Miryophillum quitense, Potamogeton illionensis, P. paramoanus* y *Eleocharis* spp.

Para el mes de octubre, cuando la estratificación es muy fuerte y las formas de nitrógeno estan ausentes, aparece abundantemente *Oscillatoria* sp. (Cyanophyceae). El hecho de la baja importancia de los fijadores de nitrógeno en la laguna a pesar de la constante deficiencia de nitrógeno, es explicado, al igual que ocurre en los lagos Titicaca, Valencia y Jacaratinga (Richerson *et al.* 1986; Lewis, 1987; Henry *et al.* 1978), por las fuertes intensidades lumínicas, que inhiben la fijación de nitrógeno superficial (Fogg, 1971). De tal manera, para el mes en mención, un incremento en la fijación de nitrógeno toma lugar cuando aumenta la nubosidad y disminuyen la intensidad lumínica y los rayos ultravioleta, aspectos que inciden en la productividad de estos ecosistemas acuáticos de alta montaña. Bajo esas circunstancias y después de la circulación profunda que se presenta en el mes de junio (Donato, 1990), una secuencia sucesional se inicia en la laguna con predominio de esta cianofícea ((*Oscillatoria* sp.).

El otro grupo representativo de la laguna son las diatomeas, las cuales conforman principalmente la comunidad del perifiton de la laguna. Esta muestra un patrón de variación estacional definido por diversos factores que inciden en su dinámica. Uno de ellos corresponde a la extensión de la zona litoral favorecida por la someridad de la laguna y la presencia del litoral rocoso o con predominancia de plantas acuáticas que contribuyen a la diversificación de hábitats y nichos. A ello se suman los sedimentos húmicos, enriquecidos con nutrientes inorgánicos esenciales y materia orgánica conformando un depósito directo y asequible comparado paradójicamente con las condiciones de pobreza extrema en esos elementos que presenta las aguas libres de la laguna. Como lo establece González (1990), otros factores que influyen en el perifiton son los aportes y fluctuaciones del río Frío que modifican la composición y abundancia. Es así como durante todo el muestreo especies como *Cymbella lanceolata* (Ehrenberg) Van Heurck, *C. minuta* Hilse, *Tabellaria flucculosa* (Roth) Kutz, *Epithemia turgida* (Ehrenberg). Patrick y Reimer y *Fragilaria virescens* Ralfs predominan en la laguna, mientras que diatomeas lóticas como *Navicula* sp., *Surirella linearis* W.Smith, *Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kuetzing, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg se presentan cuando son arrastrados por el río Frío en el período de lluvias.

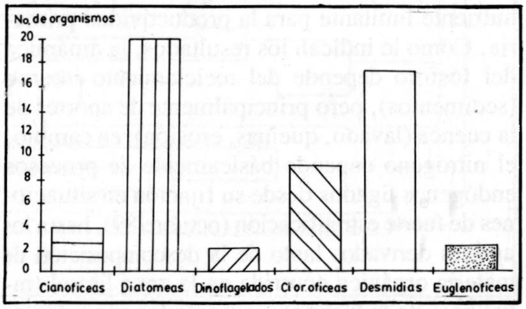

Figura 9. **Histograma de los principales grupos de algas encontradas en la laguna de Chingaza.**

Finalmente, la composición y diversidad del fitoplancton (valores que van desde 0.1864 a 2.48 bits) reflejan los cambios climáticos y la interacción que existe entre la baja temperatura y la limitación de nutrientes. Estos factores, junto a la intensa luz, permiten establecer formas cosmopolitas típicas de sistemas acuáticos de alta montaña (Gessner, 1955; Loffler, 1972; Steinitz Kannan *et al.* 1983; Richerson *et al.* 1977).

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS), por la financiación otorgada para la primera etapa de investigación. Extiendo mi gratitud al INDERENA, a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y a la Pontificia Universidad Javeriana, en especial a los profesores Henry Bernal, Orlando Vargas y Elizabeth de Jaramillo. Agradecimientos al Dr. Carlos E. M. Bicudo del Instituto de Botánica, Sao Paulo Brasil, por la lectura y correción del manuscrito, e igualmente agradezco a los Biólogos Claudia L. Rodríguez, Luz Estela González, Santiago Duque, Sven Zea, Udo Schmidt-Mumm y al Señor Germán Quitiáquez por su eficiente colaboración y apoyo.

Literatura Citada

American Public Health Association (apha). 1986. Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. México.

Carreño, J.G. & Ramírez. 1979. Contribución al plan de manejo del Parque Nacional Natural Chingaza. Estudio Hidroclimático. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tesis de grado (Inédito).

Coesel, M.F.P. 1987. Taxonomic notes on Colombian desmids *Cryptogamic Algology*. 8(2): 127-142.

Donato, J.Ch., S.R. Duque & L.E. Mora-Osejo. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la Laguna de Fúquene, Cundinamarca, Colombia. *Revista Acad. Colomb. Ci. Exact.*16(62): 113-144.

Donato, J.Ch. 1990. Estructura y dinámica de la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza. Estudio convenio Colciencias, Universidad Javeriana, *INDERENA, E.A.A.B. Bogotá. (Inédito).*

Fogg, G.E. *1971. Nitrogen fixation in lakes. Plant and Soil* special volume: 393-401.

Gaviria, S. 1983. Embalses y lagunas estudiadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. *Public. Subg. Operativa Dir. Serv. Acued. Div. Lab. Central.* 1-14.

Gessner, F. 1955. Die limnologischen Verhaltnisse in den seen und flussen von Venezuela. *Verh. Int. Ver. Limnol.* (12): 284-294.

Gonzalez, L.E. 1990. Estructura y dinámica del perifiton de la laguna de Chingaza (Parque Nacional Natural Chingaza). Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. (Inédito).

Hargraves, P.E. & R. Viquez. 1981. Dinoflagellate abundance in the Laguna Botos, Poás Volcano, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 29(2): 257-264.

Hegewald, E., A. Aldave & T.Hakult. 1976. Investigations on the lakes of Perú and their Phytoplankton: 1. Review of literature, description of the investigated waters and chemical data. *Arch. Hydrobiol.* 76(4): 494-506.

Henry, R., E.M. Pellegrini Caramashi & J.G. Tundisi. 1978. Survey of ecological factors in a shallow tropical reservoir. *Rev. Bras. Biol.* 38: 171-175.

Lewis, S.M. & H.F. Weibezahn. 1976. Chemistry, energy flow, and community structure some Venezuelan fresh-waters. *Verein . Limnol.* (2/3): 145-207.

Lewis, M.W. Jr. 1987. Analysis of succession in a tropical phytoplankton community and a new measure of succession rate. *Amer. Natur.* 112: 401-414.

Loffler, H. 1964. The limnology of tropical high montain lakes. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 15: 176-193.

—— 1972. Contribution to the limnology of high montain lakes in Central America. Int. *Revue. ges. Hydrobiol.* 57(30): 397-408.

Lund, G.J.W., C. Kippling & E.D. Le Cren. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statiscal basis of estimation by counting. *Hydrobiología.* 11: 143-170.

Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona, España.

Matos, M.L. & O.O. Parra. 1986. Ficoflora de lagos altoandinos. Desmidíaceas de la Laguna de Mucubají. *Gayana. Bot.* 43(1-4): 111-147.

Melack, J.M. 1979. Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. *Oecología.* 44: 1-7.

Miller, M.C., M.Kannan & P. Colinvaux. 1984. Lymnology and primary productivity of Andean and Amazonian tropical lakes of Ecuador. *Verein. Limnol.* 22: 1264-1270.

Payne, A.I. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. John Willey and Sons. Gran Bretaña.

Pimentel, R.A. & J.D. Smith. 1985. Biostat. sigma soft, Placentia, U.S.A.

Richerson, P.J., G. Widmer & T. Kittel. 1977. The limnology of lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high-altitude tropical lake. *Institute of Ecology Publications* No. 14 University of California.

Richerson, P.J., P.J. Neale, W. Wurtsbaugh, R. Alfaro & W. Vincent. 1986. Patterns of temporal variation in lake Titicaca. A high altitude tropical lake. I. Background physical and chemical processes and primary production. *Hidrobiología.* 138: 205-220.

Richerson, P.J. & H.C. Carney. 1988. Patterns of temporal variation in lake Titicaca. A high altitude tropical lake. II. Succession rate and diversity of the phytoplankton. Verh. Int. Verein. *Limnol.* 23: 734-738.

Steinitz-Kannan, M., P.A. Colinvaux & R. Kannan. 1983. Limnological studies in Ecuador. 1. a survey of chemical and physical properties of ecuatorian lakes. *Arch. Hydrobiol.* 65(1): 61-105.

Vincent, W.F. & C.L. Vincent. 1985. Nitrate cycling in lake Titicaca (Perú-Bolivia): The effects of high-altitude and tropically. *Freswater Biology.* 15: 31-42.

Viner, A.B. 1982. Nitrogen fixation and denitrification in sediments of two Kenyan Lakes. *Biotrópica.* 14(2): 91-98.

Wetzel, R.G. 1981. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona, España.

Wurtsbaugh, W.A. & W.F. Vincent. 1985. Nutrient limitation of algal growth and nitrogen fixation in a tropical alpine lake, lake Titicaca (Perú-Bolivia). *Freshwater Biology.* 15: 185-195.